

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто особливості режимів роботи силових трансформаторів та основні складові втрат потужності. Проаналізовано вплив коефіцієнта завантаження на втрати холостого ходу, втрати короткого замикання та коефіцієнт корисної дії трансформатора. Запропоновано підходи до підвищення ефективності використання трансформаторного обладнання за рахунок оптимізації режимів навантаження, контролю технічного стану та раціонального вибору кількості працюючих трансформаторів.

Ключові слова: силовий трансформатор, режими роботи, втрати потужності, коефіцієнт завантаження, ККД, ефективність експлуатації.

Abstract

The features of power transformer operating modes and the main components of power losses are considered. The influence of the load factor on no-load losses, short-circuit losses and transformer efficiency is analyzed. Approaches to improving the efficiency of transformer equipment use by optimizing load modes, monitoring technical condition and rationally selecting the number of operating transformers are proposed.

Keywords: power transformer, operating modes, power losses, load factor, efficiency, operational efficiency.

Вступ

Силові трансформатори є одними з основних елементів електричних станцій, підстанцій і розподільних мереж. Вони забезпечують перетворення рівнів напруги та передачу електричної енергії між окремими ділянками енергосистеми. Надійність і економічність їх роботи значною мірою впливають на якість електропостачання та рівень технологічних втрат у мережах [1, 2].

У процесі експлуатації трансформатори працюють у різних режимах: номінальному, режимі змінного навантаження, короткочасного перевантаження, паралельної або роздільної роботи. При цьому важливим завданням є забезпечення такого режиму, за якого втрати потужності будуть мінімальними, а нагрів обмоток і ізоляції не перевищуватиме допустимих значень [3].

Метою роботи є дослідження режимів роботи та втрат потужності силових трансформаторів для визначення заходів, спрямованих на підвищення ефективності їх використання.

Результати дослідження

Втрати потужності у силовому трансформаторі складаються з двох основних складових: втрат холостого ходу та втрат навантаження. Втрати холостого ходу виникають у магнітопроводі та практично не залежать від навантаження, оскільки визначаються прикладеною напругою, якістю електротехнічної сталі та конструкцією магнітної системи. Втрати навантаження пов'язані з протіканням струму в обмотках і зростають пропорційно квадрату коефіцієнта завантаження [1, 4].

Для оцінювання втрат потужності двообмоткового трансформатора доцільно використовувати залежність:

$$\Delta P = P_0 + k_l^2 \cdot P_k, \quad (1)$$

де ΔP - повні активні втрати потужності; P_0 - втрати холостого ходу; P_k - втрати короткого замикання; k_l - коефіцієнт завантаження трансформатора.

З виразу (1) видно, що при малому навантаженні значну частку становлять постійні втрати холостого ходу. За великих навантажень зростає роль втрат короткого замикання. Отже, робота трансформатора з дуже малим або надмірним навантаженням є економічно недоцільною.

Коефіцієнт корисної дії трансформатора можна оцінити за формулою:

$$\eta = (S \cdot \cos\varphi) / (S \cdot \cos\varphi + P_0 + k^2 \cdot P_k), \quad (2)$$

де $S \cdot \cos\varphi$ - активна потужність навантаження; η - коефіцієнт корисної дії трансформатора.

Максимальне значення ККД досягається тоді, коли змінні втрати приблизно дорівнюють постійним. У цьому випадку економічний коефіцієнт завантаження може бути визначений за співвідношенням:

$$k_{ec} = \sqrt{P_0 / P_k}. \quad (3)$$

Практичне значення цього співвідношення полягає в тому, що воно дозволяє оцінити найбільш доцільну область завантаження трансформатора. Якщо фактичне навантаження тривалий час є нижчим за економічно доцільне, доцільно розглянути можливість відключення одного з паралельно працюючих трансформаторів або перегляду схеми живлення навантаження.

На двотрансформаторних підстанціях важливим є вибір режиму роботи одного або двох трансформаторів залежно від графіка навантаження. У години мінімального навантаження робота двох трансформаторів може призводити до зайвих втрат холостого ходу. У години максимального навантаження ввімкнення двох трансформаторів забезпечує зменшення втрат навантаження та підвищення надійності електропостачання.

Під час паралельної роботи трансформаторів необхідно дотримуватися умов однакової групи з'єднання обмоток, близьких коефіцієнтів трансформації, близьких напруг короткого замикання та правильного фазування. Порушення цих умов може спричинити появу зрівняльних струмів, нерівномірний розподіл навантаження та перевантаження одного з трансформаторів [5].

Крім оптимізації навантаження, важливим напрямом підвищення ефективності є технічне діагностування трансформаторів. Регулярний контроль температури, рівня та якості трансформаторного масла, стану введів, роботи систем охолодження і релейного захисту дає змогу своєчасно виявляти дефекти та запобігати аварійним пошкодженням.

Висновки

Встановлено, що ефективність використання силових трансформаторів значною мірою залежить від режиму їх завантаження. Основними складовими втрат є втрати холостого ходу та втрати короткого замикання, співвідношення яких визначає економічно доцільну область роботи трансформатора.

Показано, що підвищення ефективності експлуатації можливе за рахунок оптимального вибору кількості працюючих трансформаторів, контролю коефіцієнта завантаження, дотримання умов паралельної роботи та своєчасного технічного обслуговування.

Запропоновані підходи дозволяють зменшити втрати електроенергії, продовжити строк служби обладнання та підвищити надійність електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN 60076-1:2016. Трансформатори силові. Частина 1. Загальні відомості (EN 60076-1:2011, IDT).
2. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. Норми випробування електрообладнання.
3. Грудинський П. Г., Мандрикін С. А., Улицький М. С. Технічна експлуатація основного обладнання станцій і підстанцій. М.: Енергія, 1994.
4. Електротехнічний довідник: у 3 т. / за ред. В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинського, І. Н. Орлова. М.: Енергоатомиздат, 1988.
5. Гук Ю. Б., Кантан В. В., Петрова С. С. Проектування електричної частини станцій і підстанцій. Л.: Енергоатомиздат, 1985.

Шестаковський О. Г. - студент групи 1ЕСМ-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Собчук Наталія Валеріївна - канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Shestakovskiy O. H. - student of group 1ESM-22b, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Sobchuk Nataliia Valeriivna - Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.